

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie (PPK)
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. dent. Florian Wegehaupt

Zahnbürstabrasion von gesundem und erodiertem Zahnschmelz durch eine neue „Diamant Zahnpaste“

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Vanessa Maria Giselle Högger

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin
Zürich 2017

Publikationshinweis

Die Ergebnisse dieser Studie sind in folgender Publikation zusammengefasst:

Abrasion of eroded and sound enamel by a dentifrice containing diamond abrasive particles.

Wegehaupt FJ, Högger VMG, Attin T

Swiss Dental J. 2017 „zur Publikation angenommen“

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung.....	6
3	Literaturübersicht	7
3.1	Dentale Erosionen	7
3.1.1	Definitionen	7
3.1.2	Epidemiologie.....	7
3.1.3	Ätiologie und Risikofaktoren	7
3.2	Dentale Abrasionen	8
3.2.1	Definitionen	8
3.2.2	Epidemiologie.....	8
3.2.3	Ätiologie und Risikofaktoren	8
3.3	Zahnpasten	9
3.3.1	Inhaltstoffe	9
3.3.2	„Whitening-Zahnpasten“	9
3.3.3	RDA-Wert	10
3.4	Zielsetzung der Studie	10
4	Material und Methoden.....	12
4.1	Versuchsaufbau	12
4.2	Probenherstellung und Aufteilung	14
4.3	Versuchsdurchführung im Labor	16
4.3.1	Versuchsvorbereitung	16
4.3.2	„Zahnpasten-slurry-Zubereitung“	16
4.3.3	Erosion der Proben	17
4.3.4	Abrasion der Proben	18
4.3.5	Messungen zwischen den Zyklen	18
4.4	Profilometrische Analysen	18
4.5	Statistische Analysen und Datenauswertung	19
5	Resultate.....	20
5.1	Outcome	20
6	Diskussion.....	23
6.1	Wichtigste Resultate	23
6.2	Stärken und Limitationen der Studie	23
6.3	Bedeutung der Studie/Implikationen	24
6.4	Schlussfolgerungen	26

7	Literaturverzeichnis.....	27
8	Anhang.....	31
8.1	Verwendete Materialien	31
8.2	Verwendete Zahnpasten: Produktangaben und Inhaltsstoffe	32
9	Verdankungen.....	33
10	Curriculum Vitae	34

1 Zusammenfassung

Wissenschaftliche Fragestellung: Das Ziel der vorliegenden Studie war es den Verlust von gesundem und erodiertem Zahnschmelz durch Zähnebürsten mit einer neuen „Diamant Zahnpaste“ zu bestimmen und mit zwei handelsüblichen Zahnpasten zu vergleichen.

Material und Methoden: Zweiundsiebzig Schmelzproben wurden aus Rinderzähnen hergestellt und auf sechs Gruppen aufgeteilt (G1-G3, E1-E3; n=12). Vor Versuchsbeginn wurden mittels Profilometrie Basismessungen aller Proben durchgeführt. Die Proben einer Gruppe wurden in die folgenden drei „Zahnpastenslurries“ eingelegt und mit einer Zahnbürste mit jeweils 20 Bürststrichen gebürstet: G1+E1: Signal WHITE SYSTEM + künstlicher Speichel, G2+E2: elmex KARIESSCHUTZ + künstlicher Speichel, G3+E3: Candida WHITE DIAMOND + künstlicher Speichel. Die Proben der Gruppe E1-3 wurden zusätzlich zu Beginn jedes Abrasionszykluses für 2 Minuten in Salzsäure (pH 3.0) erodiert. Das Oberflächenprofil der Proben wurde jeweils nach 30, 60 und 90 Zyklen mittels Profilometrie gemessen und mittels ANOVA und Scheffé-Post-hoc-Test verglichen.

Resultate: Mit zunehmenden Zyklen nahm der Schmelzabtrag in den Gruppen G3 und E1-E3 zu. Nach 30, 60 und 90 Zyklen war der Schmelzabtrag zwischen den Gruppen G1 und G2 nicht signifikant unterschiedlich. Der Schmelzabtrag in der Gruppe G3 war zu allen Zeitpunkten signifikant höher als in den Gruppen G1 und G2. Der Schmelzabtrag in der Gruppe E3 war nach 60 und 90 Zyklen signifikant höher als in den Gruppen E1 und E2. Alle Gruppen zeigten innerhalb derselben Anzahl an Zyklen und derselben Zahnpaste, dass der erosive + abrasive Schmelzabtrag immer signifikant höher war als der entsprechende nur abrasive Schmelzabtrag.

Schlussfolgerung: Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass der Abrasionsabtrag durch die neue „Diamant Zahnpaste“ auf erodiertem Zahnschmelz grösser ist als auf gesundem Zahnschmelz. Verglichen mit den zwei handelsüblichen Zahnpasten verursachte die „Diamant Zahnpaste“ allerdings im direkten Vergleich nur einen geringfügig höheren Abrasionsabtrag auf erodiertem Zahnschmelz, hingegen einen eindeutig höheren Abrasionsabtrag auf gesundem Zahnschmelz.

2 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurde ein signifikanter Kariesrückgang aufgrund Kariespräventions- und Prophylaxemassnahmen beobachtet (1). Im Gegenzug wurde dafür ein beträchtlicher Anstieg von dentalen Erosionen festgestellt (2, 3). Da die Bevölkerung immer älter wird, kommt es häufiger dazu, dass die eigenen Zähne bis ins hohe Alter erhalten bleiben. Diese Zähne sind somit aber auch mehr mechanischen Belastungen, wie Abrasion, Demastikation und Attrition und/oder chemischen Einflüssen, wie erosiven Säureeinwirkungen, ausgesetzt.

Die Zahnpaste gehört heute neben der Zahnbürste zu den meist verwendeten Mundhygieneartikeln der häuslichen Prophylaxe. Exzessives Zähneputzen mit abrasiven Pasten vor allem in Verbindung mit ungeeigneten Putztechniken kann zu Abrasion von Zahnhartsubstanz führen.

Der Wunsch nach Schönheit und damit das Streben, schöne und blendend weisse Zähne zu haben, nehmen heutzutage in der Zahnmedizin einen großen Stellenwert ein. Dies hat dazu geführt, dass sogenannte „Whitening-Zahnpasten“, mittlerweile einen erheblichen Marktanteil haben. Normalerweise besitzen die sogenannten „Whitening-Zahnpasten“ einen höheren RDA-Wert als gewöhnliche Zahnpasten und gelten als besonders abrasiv.

Es ist bekannt, dass erodierter Zahnschmelz empfindlicher gegenüber mechanischen Einflüssen, wie z.B. Zähneputzen, als gesunder Zahnschmelz ist (4, 5). Kürzlich ist eine neue „Diamant Zahnpaste“ auf den Markt gekommen, bei der nicht bekannt ist, wie die hier verwendeten Abrasivstoffe (Diamant-Partikel) den abrasiven Zahnhartsubstanzverlust beeinflussen.

Ziel der Studie war es, den Einfluss einer neuartigen „Diamant Zahnpaste“ auf den abrasiven Zahnhartsubstanzverlust von gesundem und erodiertem Schmelz zu bestimmen und mit zwei handelsüblichen Zahnpasten zu vergleichen.

3 Literaturübersicht

3.1 Dentale Erosionen

3.1.1 Definitionen

Erosionen sind Zahnhartsubstanzverluste, die durch direkte Säureeinwirkung, ohne Mitbeteiligung von Bakterien, verursacht werden (6, 7). Die Säureeinwirkung führt zu einer Demineralisierung, die sich zu Beginn in einem Erweichen der Zahnhartsubstanz zeigt (8). Bei längeren und/ oder häufigeren Säurekontakten kommt es zu einem irreversiblen Volumenverlust und zu klinisch sichtbaren Defekten (6, 9).

3.1.2 Epidemiologie

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass die Prävalenz von Erosion zunimmt (2, 3, 10). Verschiedene klinische Studien zur Epidemiologie wurden in einem Review von Jeaggi und Lussi (2) zusammengefasst. Aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsmethoden und Populationsgruppen ist es jedoch schwierig diese Studien miteinander zu vergleichen. Die Studien zeigten eine Prävalenz von Milchzahnerosionen bei 2- bis 5-jährigen Vorschulkindern zwischen 1% bis 79%. Die Prävalenz von Erosionen in bleibenden Zähnen bei 5- bis 9-jährigen Schulkindern lag bei 14%. Die Prävalenz von Erosionen bei 9- bis 20-jährigen Jugendlichen lag zwischen 7% bis 100%. Die Inzidenz von Erosionen bei Jugendlichen wurde zwischen 3.5% bis 18% beobachtet. Die Prävalenz bei 20- bis 88-jährigen Erwachsenen zeigte sich zwischen 4% bis 100% (2).

Im Allgemeinen zeigten männliche Individuen mehr Erosionen als weibliche. Erosionen waren am häufigsten auf Okklusalfächen der ersten Molaren des Unterkiefers zu finden, gefolgt von Erosionen auf Fazialflächen der Oberkieferschneidezähne und -eckzähne (2).

3.1.3 Ätiologie und Risikofaktoren

Erosionen haben eine multifaktorielle Ätiologie. Man kann bei der Säureexposition zwischen intrinsischen und extrinsischen Säuren unterscheiden (11).

Intrinsische Säure stammt aus dem Magen. Die Magensäure kann durch wiederkehrendes Erbrechen, Regurgitation und Reflux in die Mundhöhle gelangen. Gastrooesophagealer Reflux ist die Hauptursache von intrinsischen Erosionen (12).

Psychosomatische Essverhaltensstörungen wie Bulimia nervosa und Anorexia nervosa sind die Hauptursachen für Erbrechen und Regurgitation (11-13).

Extrinsische Säuren können aus Nahrungsmitteln, Getränken, dem Arbeitsumfeld, Mundhygieneprodukten, Arzneimittel oder Drogen stammen (11, 13-17) .

Zusätzlich können weitere Faktoren den Erosionsprozess beeinflussen. Biologische Faktoren, wie Speichel, Pellikel, Zahnstruktur und Weichgewebe sind mitbestimmende Faktoren für die Entstehung von Erosionen beziehungsweise die Abrasion von erosiv erweichten Zahnhartsubstanzen. Verhaltensfaktoren wie Lifestyle, Ess- und Trinkgewohnheiten bestimmen zusätzlich die Entwicklung von Erosionen. Faktoren wie systemische Gesundheit, Kenntnisse und sozioökonomischer Status können den Erosionsprozess ebenfalls modifizieren (11, 13).

3.2 Dentale Abrasionen

3.2.1 Definitionen

Abrasionen sind mechanische Zahnhartsubstanzverluste, die durch den Kontakt von Zähnen und Fremdkörpern verursacht werden. Die Zahnhartsubstanz wird direkt durch einen kontinuierlichen mechanischen Kontakt abgetragen (18).

3.2.2 Epidemiologie

Es sind keine präzisen Studien über die Prävalenz und die Inzidenz von dentalen Abrasionen vorhanden, da Indizes meist nicht eine spezifische Ätiologie der Zahnhartsubstanzverluste messen oder die Studienpopulation zu divers im Alter und anderen Eigenschaften ist (19). Zudem ist eine klare Differenzierung zwischen den verschiedenen Zahnhartsubstanzverlusten (Erosionen, Abrasionen, Attritionen und Abfraktionen) nicht immer möglich, denn das klinische Erscheinungsbild ist meist eine Kombination aus verschiedenen Typen von Zahnhartsubstanzverlusten (Erosionen, Abrasionen, Attritionen und Abfraktionen) (20).

3.2.3 Ätiologie und Risikofaktoren

Auch Abrasionen haben eine multifaktorielle Ätiologie: Studien zeigen, dass heutzutage in der westlichen Bevölkerung die Hauptursache für Abrasionen Abrasivstoffe in den Zahnpasten sind (18, 21). Zähnebürsten ohne Zahnpaste hat keinen abrasiven Effekt auf Zahnschmelz und nur einen unbedeutenden klinischen Effekt auf Dentin (22).

Jedoch haben Zahnbürsteneigenschaften, wie Zahnbürstfilamentdichte, Zahnbürstfilamentoberflächenstruktur und Zahnbürstfilamentanordnung einen Einfluss auf die Abrasion der Zahnhartsubstanz (18). Eine Studie von Wiegand et al. (23) konnte zeigen, dass je kleiner die Filamentdurchmesser, desto grösser ist der Abrasionsabtrag auf Dentin. Eine Studie von Kumar et al. (24) zeigte, dass ein „bi-level“- (zwei unterschiedliche Borstenlängen) Borstendesign einen höheren Abrasionsabtrag auf gesundem Zahnschmelz mit einer Standardzahnpaste als ein Zig-Zag- (verschieden abgewinkelte Borsten) Borstendesign hat. Am wenigsten Abrasionsabtrag auf gesundem Zahnschmelz zeigte ein flach getrimmtes Borstendesign. Zahnbürstenabrasion ist ein Prozess, der zusätzlich abhängig ist von Zeit, Frequenz, Dauer und Bürstkraft (21).

3.3 Zahnpasten

3.3.1 Inhaltstoffe

Zahnpasten enthalten Inhaltsstoffe wie Putzkörper, Schaumbildner, Netzbildner, Feuchthaltemittel, Geschmacksstoffe, Süsstoffe, Farbstoffe, Konservierungsstoffe, Wasser und Zusatzstoffe aber auch aktive Stoffe wie Fluoride, Antiplaque/Antigingivitis-Mittel, Antimundgeruchmittel, Antizahnsteinmittel, Weissmachermittel und Erosionspräventionsmittel (25).

Während des Zahnbürstens entsteht ein „Zahnpasten-slurry“ durch Vermischung der Zahnpaste mit dem Speichel und unter mechanischer Hilfe der Zahnbürste. Die „slurry-Bildung“ führt nicht nur zur Verteilung der aktiven Stoffe in der Mundhöhle, sondern auch zur Verdünnung der Zahnpaste. Zusätzlich erhöht der Speichel den pH-Wert des „slurrys“ durch seine Pufferkapazität. Zudem wird die Temperatur des Speichels erhöht, was den Speichelkomponenten erlaubt mit den Inhaltsstoffen der Zahnpaste besser zu interagieren (25).

3.3.2 „Whitening-Zahnpasten“

Die eigentliche Zahnfarbe wird einerseits durch die intrinsische Farbe, welche vor allem durch das Dentin vorgegeben wird, und andererseits durch extrinsische Verfärbungen des Zahnes beeinflusst (26, 27).

Für die Entfernung der extrinsischen Verfärbungen benötigen die Zahnpasten einen gewissen Anteil an Abrasivstoffen (28). Es gibt verschiedene abrasive Agentien,

darunter fallen hydriertes Silikat, Calciumcarbonat, Dicalciumphosphatdihydrat und Calciumpyrophosphat, Aluminiumoxid, Perlit, Natriumbicarbonat und Diamantpulver (29). Diese erhöhen die Reinigung durch die mechanische Reibung der Abrasivstoffe.

„Whitenning-Zahnpasten“ enthalten zusätzlich zu den Abrasivstoffen Agentien, welche eine chemische oder optische Zahnaufhellung bewirken können. Dazu gehören chemische Agentien wie Peroxide, Enzyme, Citrate, Pyrophosphate und Hexametaphosphate sowie Polyaspartat oder optische Agentien, wie blaues Covarin (30).

3.3.3 RDA-Wert

Für jede Zahnpaste kann ein relativer Dentin Abrasivitäts Wert (RDA-Wert) ermittelt werden. Der RDA-Wert einer Zahnpaste drückt die Abrasivität der jeweiligen Zahnpaste im Vergleich zu einem Standard-Abrasiv aus. Je höher der RDA-Wert, desto höher ist die Abrasivität der Zahnpaste auf Dentin (23, 31, 32).

Zur Ermittlung des RDA-Wertes ist radioaktives Dentin und ein Szintillationszähler nötig. Der RDA-Wert wird aus der Freisetzung von radioaktivem Dentin durch Zähnebürsten mit der jeweiligen untersuchten Zahnpaste ermittelt. Der genaue RDA-Wert wird dann im Vergleich zu einem Standard-Abrasiv berechnet (33). Diese radioaktive Methode, bekannt als radioaktive oder relative Dentin Abrasivität (RDA) wurde vor mehr als fünf Jahrzehnten entwickelt und gehört heute zur meistgebrauchten Methode für die Bestimmung der Zahnpastenabrasivität (33-35).

Die Abrasivität der Zahnpasten hängt ab von der Menge, der Partikelgrösse und der Oberflächenstruktur der Partikel der Abrasivstoffe sowie vom chemischen Einfluss der anderen Inhaltsstoffen der Zahnpaste (36).

Die RDA-Werte werden in drei Gruppen eingeteilt, um die Abrasivität auf Dentin abschätzen zu können. Ein RDA-Wert unter 70 gilt als niedrig und hat somit wenig relative Abrasivität auf Dentin. Ein mittlerer RDA-Wert ist zwischen 70 und 150. Ein RDA-Wert über 150 gilt als hoch und hat somit eine hohe relative Abrasivität auf Dentin (31).

3.4 Zielsetzung der Studie

Das Ziel der folgenden Studie war es, den abrasiven Zahnhartsubstanzabtrag durch Zähnebürsten, mit einer neuen „Diamant Zahnpaste“, auf gesundem und erodiertem

Zahnschmelz zu bestimmen und mit zwei handelsüblichen Zahnpasten zu vergleichen. Die Null-Hypothese dieser Studie war es, dass sich der Abrasionsabtrag durch die „Diamant Zahnpaste“ von gesundem und erodiertem Zahnschmelz nicht unterscheidet. Die zweite Hypothese war, dass der Abrasionsabtrag durch die „Diamant Zahnpaste“ auf erodiertem Zahnschmelz grösser ist als auf gesundem Zahnschmelz im Vergleich zu den anderen zwei handelsüblichen Zahnpasten.

4 Material und Methoden

4.1 Versuchsaufbau

Für die Untersuchung wurden 72 Schmelzproben aus bovinen Unterkieferschneidezähnen gewonnen. Diese Schmelzproben wurden auf sechs Gruppen aufgeteilt (G1-G3, E1-E3; je n=12).

Für alle Proben wurden Basisprofile mit einem Kontaktprofilometer (Mat. 1) aufgezeichnet. Die Proben der Gruppen G1-G3 verblieben nativ, während die Proben der Gruppen E1-E3 jeweils vor der Abrasion für 2 min in Salzsäure mit einem pH-Wert von 3.0 erodiert wurden. Anschliessend wurden die Proben einer Gruppe in gruppenspezifische „Zahnpasten-slurries“ eingelegt und mit einer Zahnbürste mit 20 Bürststrichen gebürstet.

Die „Zahnpasten-slurries“ wurden jeweils aus zwei Teilen künstlichem Speichel und einem Teil Zahnpaste hergestellt. Für die Zubereitung der „Zahnpasten-slurries“ für Gruppe E1 + G1 wurde die Zahnpaste Signal WHITE SYSTEM, für Gruppe E2 + G2 die Zahnpaste elmex KARIESSCHUTZ und für Gruppe E3 + G3 die Zahnpaste Candida WHITE DIAMOND verwendet. Nach 30 Zyklen wurden neue Profile aufgezeichnet. Nach weiteren 30 und 60 Zyklen wurden erneut Profile aufgezeichnet. Der Schmelzverlust wurde ermittelt, indem die Profile nach 30, 60 und 90 Zyklen mit den entsprechenden Basisprofilen verglichen wurden. In Abbildung (Abb.) 1 ist schematisch der Versuchsablauf dargestellt.

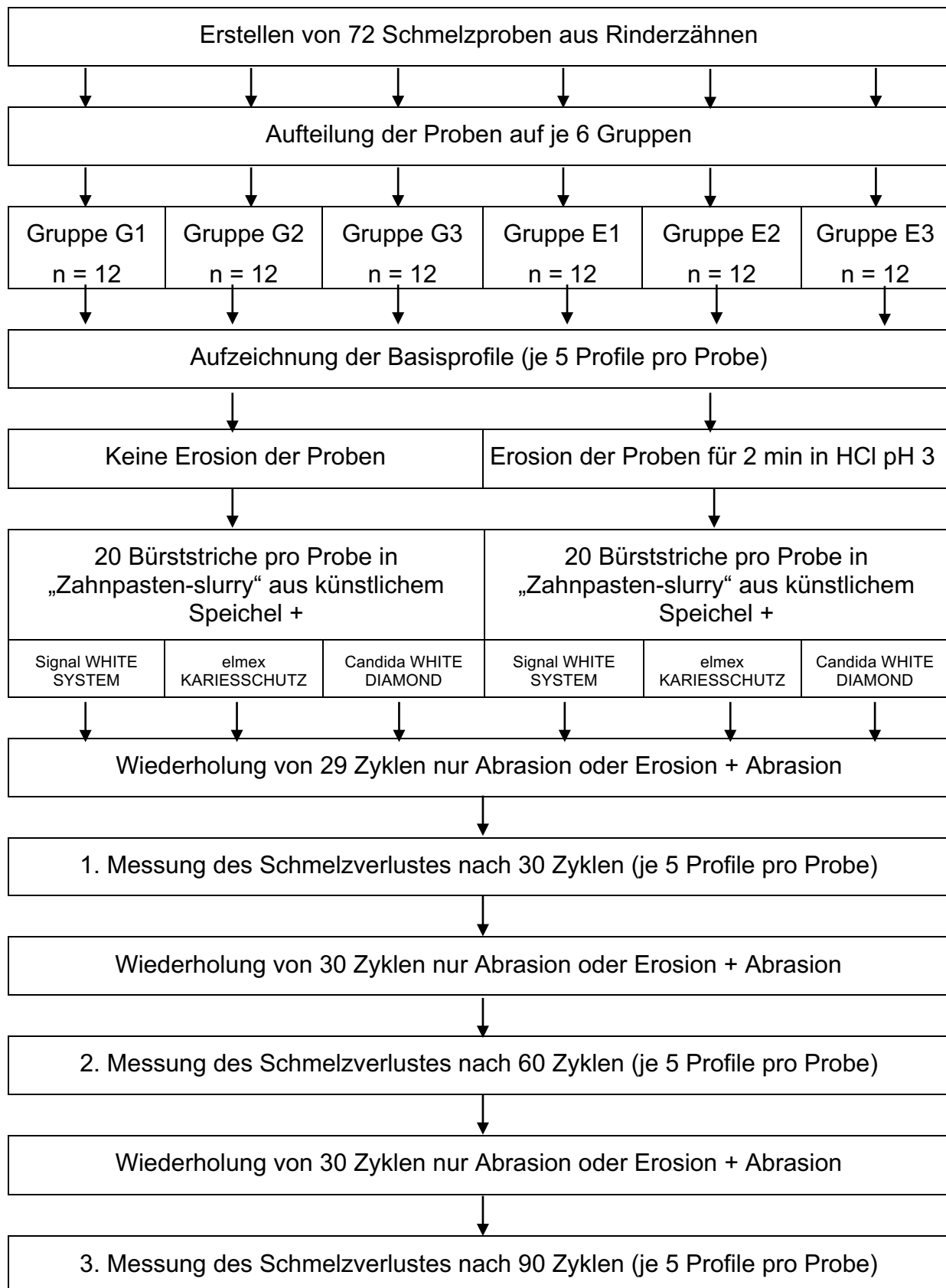


Abb. 1 Schematischer Plan des Versuchsablaufes

4.2 Probenherstellung und Aufteilung

Für die Studie wurden frisch extrahierte bovine Frontzähne verwendet. Zuerst wurden die Zähne mit einer wassergekühlten Diamantscheibe (Mat. 2) an der Schmelz-Zement-Grenze durchtrennt. Das koronale Pulpagewebe wurde mit endodontischen Nadeln entfernt. Aus den Zahnkronen wurden anschliessend mit einem Trepanbohrer (Mat. 3) Schmelzproben von 3 mm Durchmesser herausgebohrt. Mittels eines kleinen Hebels aus Metall wurden die Schmelzproben von Hand komplett aus der Zahnkrone herausgebrochen.

Die Schmelzproben mussten eingebettet werden, da der Schmelz der Rinderzähne nur eine geringe Dicke hat und die Proben für die Mess- und Versuchsvorrichtungen eine ungefähre Dicke von 3 mm aufweisen sollten. Die Schmelzproben wurden hierzu mit der Schmelzoberfläche nach unten in eine Gussform aus Silikon eingelegt. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Schmelzproben möglichst genau in der Mitte der Vertiefungen zu liegen kommen, um anschliessend gleichmässig mit einem Prothesenkunststoff (Mat. 4) eingebettet zu werden. Die Gussform mit den Proben wurde anschliessend in ein Druckpolymerisationsgerät (Mat. 5) mit Wasser gestellt, damit der Kunststoff während 14 min bei 45°C und 2 bar aushärten konnte.

Nach Entfernen der Proben aus der Gussform wurden diese auf der Rückseite, die aus reinem Kunststoff besteht, mit einer Fräse (Mat. 3) auf eine einheitliche Höhe gefräst. Mittels einer Schleif- und Poliermaschiene (Mat.6) wurden die Vorderseiten (Schmelzoberfläche) unter Wasserkühlung mit zwei Schleifscheiben (Mat. 7) unterschiedlicher Körnungen zu einer planen Oberfläche geschliffen. Der Schleifvorgang erfolgte mit einer Tellergeschwindigkeit von 150 Umdrehungen pro Minute und einer Probengeschwindigkeit von 140 Umdrehungen pro Minute, ungefähr 60 Sekunden lang mit jeweils einer Körnung von 2000 und 4000 grit. Die Umdrehungen erfolgten jeweils im Gleichlauf und die Proben wurden mit 5 N beschwert.

Zum Schluss wurden bei jeder Probe auf der Vorderseite zwei parallele Referenzkerben eingeritzt. Der Bereich zwischen den Kerben beträgt 3.6 mm und ist im Kunststoff gelegen.

Die Proben wurden randomisiert auf sechs (G1-G3, E1-E3) Gruppen (n=12) verteilt und in Leitungswasser gelagert. Die Zuordnung der Gruppen ist in Tabelle (Tab.) 1 ersichtlich.

Gruppe	Zahnschmelz	„Zahnpasten-slurry“
G1	gesund	Signal WHITE SYSTEM (Denner, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel*
G2	gesund	elmex KARIESSCHUTZ (Denner, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel
G3	gesund	Candida WHITE DIAMOND (Migros, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel
E1	erodiert	Signal WHITE SYSTEM (Denner, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel
E2	erodiert	elmex KARIESSCHUTZ (Denner, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel
E3	erodiert	Candida WHITE DIAMOND (Migros, Zürich, Schweiz) + künstlicher Speichel

Tab. 1 Zusammensetzung und Einteilung der sechs Gruppen

***Speichelzusammensetzung nach Klimek et al. (37)**

4.3 Versuchsdurchführung im Labor

4.3.1 Versuchsvorbereitung

Zu Beginn wurden für jede Probe fünf Basisprofile mittels eines Profilometer aufgezeichnet. Nach den Basismessungen wurden die Proben einer Gruppe jeweils zu zweit in eine Versuchsvorrichtung (Schiffchen), wie in Abbildung 2 ersichtlich, platziert. Diese Schiffchen haben die Form einer rechteckigen Schachtel und am Boden der Innenseite zwei nebeneinanderliegende runde Vertiefungen, worin die Proben genau hineinpassen. Mit einem Klebestreifen (Mat. 8) wurden die Referenzbereiche der Proben angrenzend an die Testbereiche abgeklebt und zugleich die Proben im Schiffchen festgeklebt, damit sie sich in den Vertiefungen nicht bewegen.

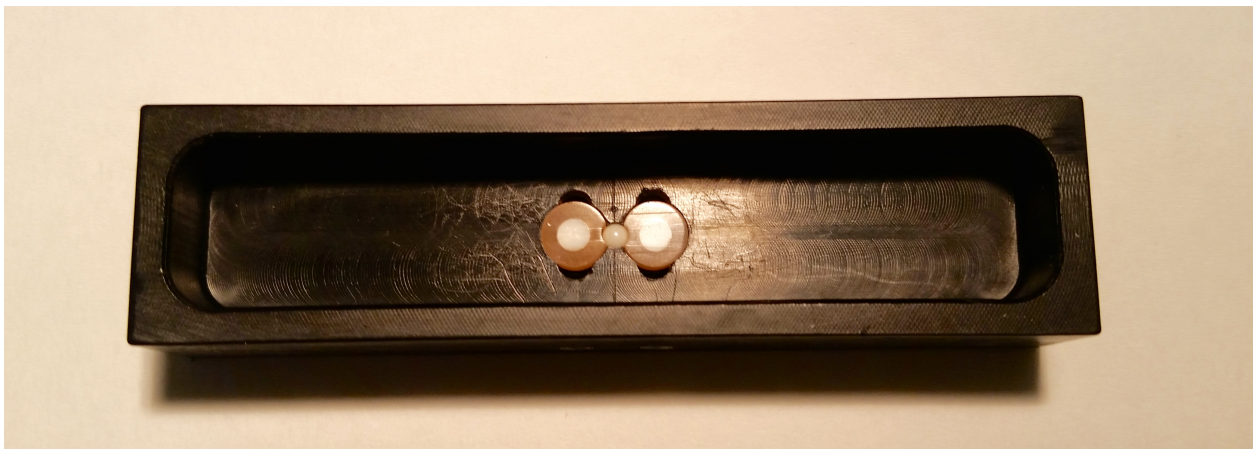


Abb. 2 Versuchsvorrichtung (Schiffchen mit 2 Proben)

4.3.2 „Zahnpasten-slurry-Zubereitung“

Die „Zahnpasten-slurries“ für die Abrasionszyklen wurden jeweils aus zwei Teilen künstlichem Speichel und einem Teil Zahnpaste zubereitet. Der künstliche Speichel wurde nach der Rezeptur von Klimek et al. (37) hergestellt. Für die Menge von 1 l künstlichem Speichel werden 1000 ml destilliertes Wasser benötigt. Die hinzugefügten Chemikalien sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Zum Abschluss wurde der pH-Wert mit HCl (1 mol/l) auf pH 6.4 eingestellt. Damit das „Zahnpasten-slurry“ immer gut durchmischt blieb, wurde es in einem Plastikbecherglas mit einem Magnetrührer in Bewegung gehalten.

Chemikalie	Molmasse [g/mol]	Konzentration [mmol/l]	Menge für 1 l [g]
Ascorbinsäure (C ₆ H ₈ O ₆)	176.13	0.0114	0.002
D-Glucose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	180.16	0.1670	0.030
Natriumchlorid (NaCl)	58.44	9.9200	0.580
Calciumchlorid Dihydrat (CaCl ₂ 2H ₂ O)	147.02	1.5300	0.225
Ammoniumchlorid (NH ₄ Cl)	53.49	2.9900	0.160
Kaliumchlorid (KCl)	74.55	17.0000	1.270
Natriumthiocyanat (NaSCN)	81.07	1.9700	0.160
Kaliumdihydrogenphosphat (KH ₂ PO ₄)	136.09	2.4200	0.330
Harnstoff (CO(NH ₂) ₂)	60.06	3.3300	0.200
Dinatriumhydrogenphosphat (Na ₂ HPO ₄)	141.96	2.4000	0.340

Tab. 2 Chemikalien für die Herstellung von 1 l künstlichem Speichel nach Klimek et al. (37)

4.3.3 Erosion der Proben

Für die Erosionszyklen wurde Salzsäure (pH-Wert 3.0) aus entionisiertem Wasser und 1 mol/l Salzsäure hergestellt. Für die Menge von 1 l brauchte man 1000 ml entionisiertes Wasser und 1 ml einer 1 mol/l Salzsäure.

Die Schiffchen der Gruppen E1-E3 wurden direkt vor jedem Abrasionszyklus für 2 min mit ca. 3 ml Salzsäure mit einem pH-Wert von 3.0 gefüllt, sodass die Proben komplett bedeckt waren. Anschliessend wurden die Proben für ca. 10 s mit fliessendem Leitungswasser abgespült um den Erosionsprozess zu stoppen.

4.3.4 Abrasion der Proben

Anschliessend wurden die Schiffchen jeder Gruppe mit ca. 3 ml gruppenspezifischen „Zahnpasten-slurries“ gefüllt. Nach dem Füllen der Schiffchen mit dem „Zahnpasten-slurry“ wurden die Proben mit einer Paro M 43 Zahnbürste (Mat. 9) mit 20 Bürststrichen von Hand gebürstet. Die Zahnbürste wurde mit einem Auflagegewicht von 2 N über dem Bürstenkopf beschwert, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist. Dies gewährleistete einen gleichmässigen Anpressdruck beim Bürsten. Nach jedem Durchgang wurden die Proben für ca. 10 s mit fliessendem Leitungswasser abgespült.



Abb. 3 Zahnbürste mit Auflagegewicht

4.3.5 Messungen zwischen den Zyklen

Nach 30 Zyklen wurden die Klebestreifen von den Referenzbereichen entfernt und die Proben aus den Schiffchen genommen um fünf neue Oberflächenprofile pro Probe aufzuzeichnen. Nach den Messungen wurden die Proben wieder in die Schiffchen eingebracht und die Referenzbereiche erneut mit einem Klebestreifen abgeklebt und weitere 30 Zyklen Erosion/Abrasion bzw. nur Abrasion durchgeführt. Nach einer weiteren Messung erfolgten anschliessend noch einmal 30 Zyklen mit abschliessender Messung.

4.4 Profilometrische Analysen

Das Oberflächenprofil der Proben wurde mit einem Profilometer aufgezeichnet. Für die profilometrischen Messungen wurde jede einzelne Probe in einen Halter des Profilometers eingespannt und somit reproduzierbar auf der Messanlage positioniert. Über ein Computerprogramm (Mat. 10) wurde die Messung gestartet. Dabei bewegte sich eine feine Nadel über die Probe und registrierte das Oberflächenprofil. Es wurden pro Probe jeweils 5 parallel zueinander verlaufende Profile mit einem Abstand von 200 μm zueinander aufgezeichnet.

Für jede Probe wurde eine Basismessung sowie Profilmessungen nach 30, 60 und 90 Zyklen vorgenommen. Mit Hilfe des Computerprogramms konnten pro Probe immer 4 Messungen (Basis, 30, 60 und 90 Zyklen) übereinandergelegt werden und der resultierende Substanzabtrag berechnet werden.

Das verwendete Profilometer hat, wie in einer vorgängigen Studie (38) ermittelt, ein minimales Messlimit von $0.105\ \mu\text{m}$.

4.5 Statistische Analysen und Datenauswertung

Zur statischen Analyse und Auswertung wurde das Statistikprogramm SPSS Version 23 (Mat. 11) verwendet.

Die Daten des Substanzabtrages wurden in Excel (Mat. 12) codiert und mit SPSS Version 23 analysiert. Für die Datenanalyse wurden in Excel die Mittelwerte des Substanzabtrages der fünf Profile pro Probe nach 30, 60 und 90 Zyklen berechnet.

Im ersten Schritt der Datenanalyse wurden deskriptive Statistiken (Mittelwert, Median, Standardabweichung (SD), Interquartilbereich (IQR)) sowie 95% Konfidenzintervall (95%CI) für die drei Zielvariablen (Abtrag nach 30, 60 und 90 Zyklen) in allen 6 Gruppen (G1-G3, E1-E3) berechnet.

Die Annahme der Normalverteilung wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft.

Die Unterschiede im Abtrag in Abhängigkeit von 2 Faktoren (Zahnpasta mit 3 Stufen und Erosion mit 2 Stufen) und deren Interaktion wurden mit der 2-Weg ANOVA untersucht.

Für zwei verschiedene Erosionszustände (mit und ohne Erosion) wurden die Unterschiede im Abtrag zu allen Messzeitpunkten (nach 30, 60 und 90 Zyklen) in Abhängigkeit der Zahnpaste mittels 1-Weg ANOVA und Scheffé-Post-hoc-Test analysiert.

Ausserdem wurde für jede Zahnpaste der Einfluss der Erosion mit dem 2-Stichproben T-Test analysiert.

Innerhalb der einzelnen Gruppen (G1-G3, E1-E3) wurde der Abtrag nach 30, 60 und 90 Zyklen mittels des gepaarten T-Tests verglichen.

Alle Ergebnisse der statistischen Analysen mit einem p-Wert kleiner als 5% ($= 0.05$) wurden als statistische signifikant interpretiert.

5 Resultate

5.1 Outcome

Der abrasive und erosiv/abrasive Schmelzabtrag (Mittelwert \pm SD) für die verschiedenen Zahnpasten nach 30, 60 und 90 Zyklen ist in Abbildung 4 dargestellt. Die genauen Werte sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Der Schmelzabtrag in der Gruppe G1 (Signal WHITE SYSTEM nur Abrasion) ist innerhalb derselben Anzahl an Zyklen (30, 60 und 90) nicht signifikant unterschiedlich zu Gruppe G2 (elmex KARIESSCHUTZ nur Abrasion).

Nach 30 Zyklen ist der Schmelzabtrag der Gruppe E2 (elmex KARIESSCHUTZ Erosion + Abrasion) nicht signifikant unterschiedlich zu Gruppe E3 (Candida WHITE DIAMOND Erosion + Abrasion).

Innerhalb der Gruppe G3 (Candida WHITE DIAMOND nur Abrasion) war der Schmelzabtrag mit steigender Anzahl an Zyklen immer signifikant höher. Ebenso innerhalb der Gruppen E1 (Signal WHITE SYSTEM), E2 und E3.

Der Schmelzabtrag in der Gruppe G3 war zu allen Zeitpunkten signifikant höher als in den Gruppen G1 und G2. Der Schmelzabtrag in der Gruppe E3 war nach 60 und 90 Zyklen signifikant höher als in den Gruppen E1 und E2.

Für alle Gruppen zeigte sich, dass innerhalb derselben Anzahl an Zyklen und derselben Zahnpaste der erosiv + abrasive Schmelzabtrag immer signifikant höher war als der entsprechende nur abrasive Schmelzabtrag.

Innerhalb der Gruppe G1 wurde kein signifikanter Unterschied zwischen 30 und 60 Zyklen gemessen.

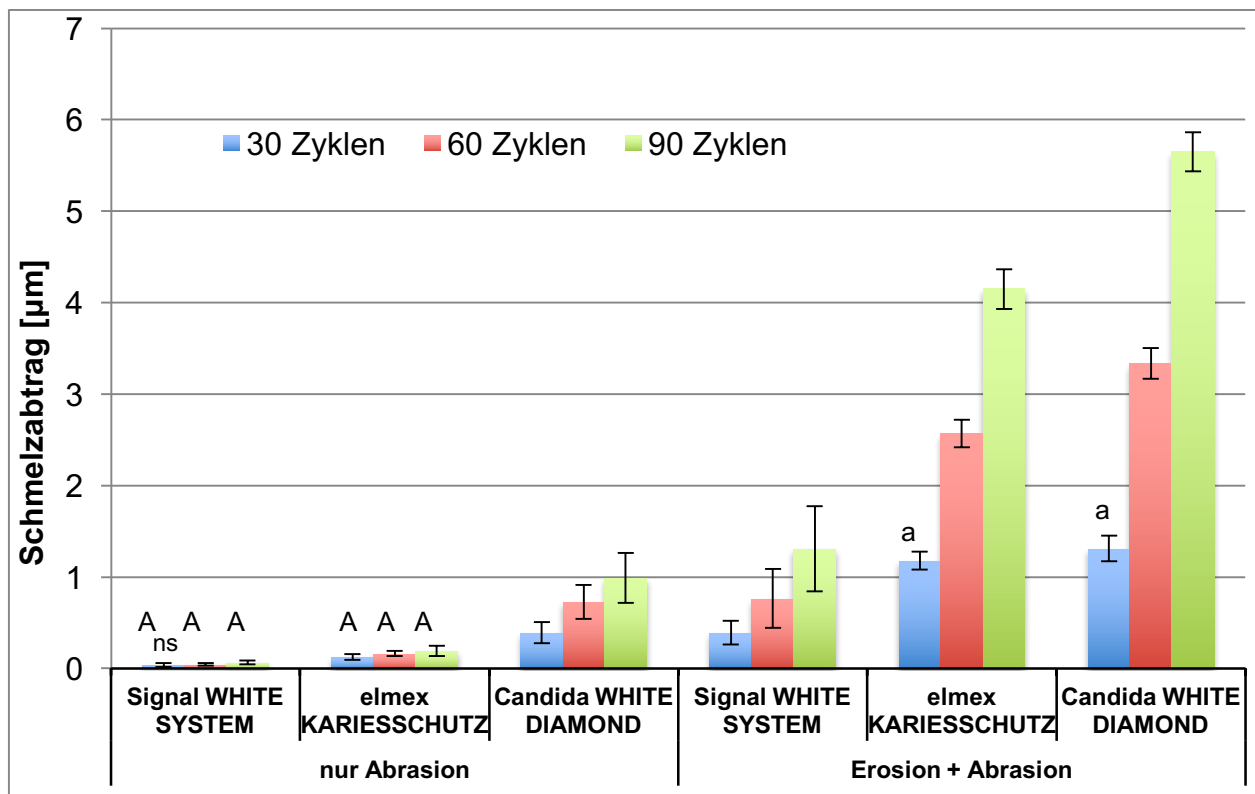


Abb. 4 Abrasiver und erosiv/abrasiver mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichungen für die drei Zahnpasten nach 30, 60 und 90 Zyklen

Werte innerhalb derselben Anzahl an Zyklen, welche sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet (Grossbuchstaben für nur Abrasion und Kleinbuchstaben für Erosion + Abrasion).

Werte innerhalb derselben Zahnpaste und derselben Anwendung (nur Abrasion oder Erosion + Abrasion) für die verschiedene Anzahl an Zyklen, die sich nicht signifikant unterscheiden, sind mit „ns“ gekennzeichnet.

Gruppe	30 Zyklen	60 Zyklen	90 Zyklen
G1: Signal WHITHE SYSTEM nur Abrasion	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.07 ± 0.02
G2: elmex KARIESSCHUTZ nur Abrasion	0.13 ± 0.03	0.16 ± 0.03	0.19 ± 0.06
G3: Candida WHITE DIAMOND nur Abrasion	0.39 ± 0.13	0.73 ± 0.19	0.99 ± 0.27
E1: Signal WHITHE SYSTEM Erosion + Abrasion	0.39 ± 0.13	0.77 ± 0.32	1.31 ± 0.47
E2: elmex KARIESSCHUTZ Erosion + Abrasion	1.18 ± 0.10	2.57 ± 0.15	4.15 ± 0.22
E3: Candida WHITE DIAMOND Erosion + Abrasion	1.31 ± 0.14	3.33 ± 0.17	5.65 ± 0.21

Tab. 3 Mittlerer Schmelzabtrag und Standardabweichungen [μm] jeder Gruppe nach 30, 60 und 90 Zyklen

6 Diskussion

6.1 Wichtigste Resultate

Die Null-Hypothese, dass sich der Abrasionsabtrag durch die „Diamant Zahnpaste“ von gesundem und erodiertem Zahnschmelz nicht unterscheidet, kann verworfen werden. Die Resultate der Studie zeigten, dass der Abrasionsabtrag auf erodiertem Zahnschmelz signifikant höher war als auf gesundem Zahnschmelz.

Die zweite Hypothese, dass der Abrasionsabtrag durch die „Diamant Zahnpaste“ auf erodiertem Zahnschmelz grösser ist als auf gesundem Zahnschmelz im Vergleich zu den zwei handelsüblichen Zahnpasten, kann ebenfalls verworfen werden. Es zeigte sich nämlich der gegenteilige Effekt. Der Abrasionsabtrag durch die „Diamant Zahnpaste“ war verglichen mit den zwei handelsüblichen Zahnpasten auf gesundem Zahnschmelz deutlich grösser als auf erodiertem Zahnschmelz.

6.2 Stärken und Limitationen der Studie

In dieser Studie wurden für alle Proben Rinderzahnschmelz verwendet. Rinderzähne sind einfacher in grösseren Mengen, in gutem Zustand und einheitlicher Beschaffenheit zu besorgen als menschliche Zähne (39). Zudem weisen Rinderzähne keine kariösen Läsionen oder andere Defekte auf, welche die Resultate beeinflussen könnten (40). Zusätzlich haben Rinderzähne den Vorteil, dass sie eine grössere Oberfläche haben (39). Dies ermöglicht mehrere Proben aus einem Zahn zu gewinnen und somit weniger Unterschiede zwischen den Proben zu erhalten (41). Obwohl der Rinderzahnschmelz physiochemisch nicht die identischen Eigenschaften hat wie der menschlichen Zahnschmelz (42), wird er oft in der zahnmedizinischen Forschung für Erosionsexperimente als Ersatz verwendet (43-46). Man muss jedoch diese Unterschiede bei der Interpretation der Resultate in Betracht ziehen.

Die Proben dieser Studie wurden stets in Leitungswasser gelagert und nur kurz für die profilometrischen Messungen getrocknet. Wie eine Studie von Attin et al. (38) zeigte, hat die Lagerung von Schmelzproben in Wasser keinen Einfluss auf die Resultate der profilometrischen Analyse.

Die Messung des Schmelzabtrags wurde in dieser Studie mittels Profilometrie durchgeführt. Diese Messmethode hat sich schon in einigen früheren Studien als

adäquat gezeigt (43, 47, 48). Das in dieser Studie verwendete Profilometer, misst mit einer ungefähren Reproduzierbarkeit von 40 nm und einer unteren Messgrenze von 0.105 µm, wodurch eine äusserst genaue Messung gewährleistet ist. Ein Nachteil jedoch ist, dass die Profilometernadel in eine erodierte und dadurch erweichte Oberfläche einsinken und zu einer Oberflächenschädigung führen kann (49).

Die Dauer eines Erosionszyklus wurde in der vorliegenden Studie auf 120 Sekunden gesetzt, wie in einer Studie von Wiegand und Attin (41) vorgeschlagen und wie auch in einer vorgängigen Studie (43) verwendet.

Die Anzahl der Bürststriche pro Zyklus in dieser Studie wurde ebenfalls anhand der Empfehlung der Studie von Wiegand und Attin (41) gewählt.

In dieser In-vitro-Studie wurden keine physiologischen intraoralen Faktoren, wie erworbenes Pellikel, Trinkgewohnheiten und Zahnbürstgewohnheiten, welche einen Einfluss auf die Erosionen/Abrasionen und somit den Schmelzabtrag haben könnten, in Betracht gezogen.

6.3 Bedeutung der Studie/Implikationen

Mehrere Studien (50-52) zeigten, dass Erosionen bei In-vitro-Studien in Rinderzahnsschmelz höher waren als bei menschlichem Zahnschmelz. Daraus folgt, dass der in dieser Studie gemessene Schmelzabtrag im Rinderzahnsschmelz möglicherweise etwas überschätzt wird.

Aufgrund möglich verursachter Kratzer durch die Profilometernadel im erweichten Zahnschmelz (49) kann es ebenfalls zu einer überschätzten Messung kommen.

Zudem wurden in dieser Studie keine Remineralisierungsphasen nach dem Säureangriff in Betracht gezogen. Eine Studie von Attin et al. (53) konnte zeigen, dass eine Remineralisierungsphase die Abrasionsresistenz von erodiertem Zahnschmelz erhöht. Somit werden die Messwerte der vorliegenden In-vitro-Studie vom erosiven + abrasiven Schmelzabtrag etwas überschätzt.

Es ist bekannt, dass das natürlich erworbene Pellikel unter anderem als eine semipermeable Diffusionsbarriere wirkt und somit zu einem gewissen Anteil vor Erosionen schützt, beziehungsweise das Ausmass reduziert (54, 55). Wegen des fehlenden Vorhandenseins des natürlich erworbenen Pellikels in der vorliegenden In-vitro-Studie wird der erosive Schmelzabtrag etwas überschätzt.

Die Art und Weise, wie ein säurehaltiges Getränk getrunken wird, beeinflusst das klinische Ausmass der Erosionen. Bei einer Studie von Johansson et al. (56) wurde gezeigt, dass der pH-Abfall im Mund abhängig ist von der Art und Weise, wie man ein Getränk trinkt. Der höchste pH-Abfall zeigte sich, wenn das Getränk im Mund gehalten wird. Etwas weniger stark war der pH-Abfall, wenn man in kleinen Schlucken trinkt. Der geringste pH-Abfall war beim schnellen Herunterschlucken des Getränks zu beobachten. Diese Faktoren würden die vorliegenden Resultate und Auswirkungen dieser Studie in einer In-vivo-Situation somit modifizieren.

Die Zahnbürstgewohnheiten sind von Patient zu Patient unterschiedlich. Zum einen spielt die Zahnbürste eine Rolle und deren Anpressdruck. Eine Studie von Wiegand et al. (57) konnte zeigen, dass man mit Handzahnbürsten einen höheren Anpressdruck als Schallzahnbürsten hat. Auch die Bürsttechnik hat einen Einfluss auf das Abrasionsausmass. Eine horizontale Bürsttechnik korreliert stark mit Abrasionen (58). Dies sind zusätzliche Faktoren, welche das klinische Ausmass verändern würden.

Wie Gonzalez-Cabezas et al. (33) in ihrer Studie zeigten, sollte der in vitro bestimmte RDA-Wert nicht als einziger Prädiktor für den Abrasionsabtrag einer Zahnpaste benutzt werden, denn der in vitro bestimmte Wert gibt nicht allein den klinischen multifaktoriellen Prozess der Zahnbürstabrasion wieder.

Der RDA-Wert gibt den relativen Abrasionsabtrag gemessen auf Dentin wieder, jedoch putzt die Bevölkerung mit Zahnpaste und Zahnbürste nicht hauptsächlich nur auf Dentin, sondern auch auf Zahnschmelz, beziehungsweise auch auf erodiertem Zahnschmelz.

Die in dieser Studie verwendeten Zahnpasten haben vom Hersteller angegebene RDA-Werte. Für Candida WHITE DIAMOND wird ein RDA-Wert von 30 angegeben. Signal WHITE SYSTEM hat einen RDA-Wert von 180 und elmex KARIESSCHUTZ einen RDA-Wert von 77. Anhand dieser angegebenen RDA-Werte würde man erwarten, dass Candida WHITE DIAMOND mit einem sehr tiefen RDA-Wert von nur 30 am wenigsten abrasiv ist. Dagegen erwartet man von Signal WHITE SYSTEM mit einem hohen RDA-Wert von 180 die stärkste Abrasion. Jedoch verursacht Candida WHITE DIAMOND innerhalb der Gruppe (nur Abrasion und Erosion + Abrasion) einen grösseren Substanzabtrag als Signal WHITE SYSTEM. Diese RDA-Werte zeigen somit keine Korrelation mit dem Abrasionsabtrag gemessen auf gesundem und erodiertem Zahnschmelz. Auch wenn man in Betracht zieht, dass erodierter, also erweichter

Zahnschmelz eher dem Dentin gleicht als gesunder harter Zahnschmelz, zeigt sich keine Korrelation zwischen den RDA-Werten. So zeigt sich, dass Candida WHITE DIAMOND mit dem niedrigsten RDA-Wert in der Gruppe Erosion + Abrasion einen grösseren Unterschied im Zahnhartsubstanzauftrag zu Signal WHITE SYSTEM besass, verglichen zu der Gruppe nur Abrasion auf gesundem Zahnschmelz. Es kann angenommen werden, dass der RDA-Wert kein guter Prädiktor für die Abrasivität auf gesundem und erodiertem Zahnschmelz ist.

Somit sollte über neue standardisierte Messmethoden und klinisch aussagbare Werte über die Abrasivität von Zahnpasten bezogen auf Zahnschmelz, insbesondere erodierten Zahnschmelz nachgedacht werden und gegebenenfalls entwickelt werden. Dies würde den Zahnärzten helfen, die individuellen Empfehlungen von Zahnpasten, den spezifischen Bedürfnissen der Patienten besser anzupassen. Allgemein sollte eine gute Zahnpaste je nach Alter und Bedürfnissen genügend Fluorid enthalten und eine hohe Reinigungswirkung bei möglichst niedriger Abrasivität haben.

6.4 Schlussfolgerungen

Anhand der Resultate der vorliegenden Studie und die in Betracht gezogenen Limitationen, kann geschlossen werden, dass die Abrasivität einer Zahnpaste sowohl vom Zustand des Zahnschmelzes (gesund oder erodiert) wie auch von der Zusammensetzung der Zahnpaste abhängig ist.

Die Abrasivität der untersuchten Zahnpasten ist auf erodiertem Zahnschmelz höher als auf gesundem Zahnschmelz. Aber verglichen mit den zwei handelsüblichen Zahnpasten verursachte die „Diamant Zahnpaste“ im direkten Vergleich nur einen geringfügig höheren Abrasionsabtrag auf erodiertem Zahnschmelz, hingegen einen eindeutig höheren Abrasionsabtrag auf gesundem Zahnschmelz.

7 Literaturverzeichnis

1. Steiner M, Menghini G, Marthaler TM, Imfeld T. Changes in dental caries in Zurich school-children over a period of 45 years. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2010;120:1084-1104
2. Jaeggi T, Lussi A. Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:55-73
3. Lussi A, Carvalho TS. Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:1-15
4. Turssi CP, Faraoni JJ, Rodrigues Jr AL, Serra MC. An in situ investigation into the abrasion of eroded dental hard tissues by a whitening dentifrice. *Caries Res.* 2004;38:473-477
5. Wiegand A, Köwing L, Attin T. Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol.* 2007;52:1043-1047
6. Ganss C. Is erosive tooth wear an oral disease? *Monogr Oral Sci.* 2014;25:16-21
7. Lussi A. Erosive tooth wear - a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci.* 2006;20:1-8
8. Lussi A, Schlueter N, Rakhmatullina E, Ganss C. Dental erosion -- an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries Res.* 2011;45:2-12
9. Ganss C, Lussi A, Schlueter N. The histological features and physical properties of eroded dental hard tissues. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:99-107
10. Jaeggi T, Lussi A. Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Monogr Oral Sci.* 2006;20:44-65
11. Almeida e Silva JS, Baratieri LN, Araujo E, Widmer N. Dental erosion: understanding this pervasive condition. *J Esthet Restor Dent.* 2011;23:205-516
12. Moazzez R, Bartlett D. Intrinsic causes of erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:180-196
13. Wang X, Lussi A. Assessment and management of dental erosion. *Dent Clin North Am.* 2010;54:565-578
14. Bahal P, Djemal S. Dental erosion from an excess of vitamin C. *Case Rep Dent.* 2014;2014:e485387
15. Hellwig E, Lussi A. Oral hygiene products, medications and drugs - hidden aetiological factors for dental erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:155-162
16. Barbour ME, Lussi A. Erosion in relation to nutrition and the environment. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:143-154
17. Li H, Zou Y, Ding G. Dietary factors associated with dental erosion: a meta-analysis. *PLoS One.* 2012;7:e42626
18. Shellis RP, Addy M. The interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:32-45
19. Litonjua LA, Andreana S, Bush PJ, Cohen RE. Tooth wear: attrition, erosion, and abrasion. *Quintessence Int.* 2003;34:435-346

20. Smith BG, Bartlett DW, Robb ND. The prevalence, etiology and management of tooth wear in the United Kingdom. *J Prosthet Dent.* 1997;78:367-372
21. Addy M, Hunter ML. Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J.* 2003;53:177-186
22. Absi EG, Addy M, Adams D. Dentine hypersensitivity -- the effect of toothbrushing and dietary compounds on dentine in vitro: an SEM study. *J Oral Rehabil.* 1992;19:101-110
23. Wiegand A, Kuhn M, Sener B, Roos M, Attin T. Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent.* 2009;37:480-484
24. Kumar S, Kumari M, Acharya S, Prasad R. Comparison of surface abrasion produced on the enamel surface by a standard dentifrice using three different toothbrush bristle designs: A profilometric in vitro study. *J Conserv Dent.* 2014;17:369-373
25. Lippert F. An introduction to toothpaste - its purpose, history and ingredients. *Monogr Oral Sci.* 2013;23:1-14
26. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004;32:3-12
27. Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. *Br Dent J.* 2001;190:309-316
28. Stookey GK, Burkhard TA, Schemehorn BR. In vitro removal of stain with dentifrices. *J Dent Res.* 1982;61:1236-1239
29. Joiner A. Whitening toothpastes: a review of the literature. *J Dent.* 2010;38:17-24
30. van Loveren C, Duckworth RM. Anti-calculus and whitening toothpastes. *Monogr Oral Sci.* 2013;23:61-74
31. Giles A, Claydon NC, Addy M, Hughes N, Sufi F, West NX. Clinical in situ study investigating abrasive effects of two commercially available toothpastes. *J Oral Rehabil.* 2009;36:498-507
32. Philpotts CJ, Weader E, Joiner A. The measurement in vitro of enamel and dentine wear by toothpastes of different abrasivity. *Int Dent J.* 2005;55:183-187
33. Gonzalez-Cabezas C, Hara AT, Hefferren J, Lippert F. Abrasivity testing of dentifrices - challenges and current state of the art. *Monogr Oral Sci.* 2013;23:100-107
34. Hefferren JJ. A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res.* 1976;55:563-573
35. Grabenstetter RJ, Broge RW, Jackson FL, Radike AW. The measurement of the abrasion of human teeth by dentifrice abrasives: a test utilizing radioactive teeth. *J Dent Res.* 1958;37:1060-1068
36. Forward GC. Role of toothpastes in the cleaning of teeth. *Int Dent J.* 1991;41:164-170
37. Klimek J, Hellwig E, Ahrens G. Effect of plaque on fluoride stability in the enamel after amine fluoride application in the artificial mouth. *Dtsch Zahnarztl Z.* 1982;37:836-840

38. Attin T, Becker K, Roos M, Attin R, Paque F. Impact of storage conditions on profilometry of eroded dental hard tissue. *Clin Oral Investig.* 2009;13:473-478
39. Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: a review of literature. *J Oral Sci.* 2011;53:273-282
40. Mellberg JR. Hard-tissue substrates for evaluation of cariogenic and anti-cariogenic activity in situ. *J Dent Res.* 1992;71:913-119
41. Wiegand A, Attin T. Design of erosion/abrasion studies -- insights and rational concepts. *Caries Res.* 2011;45:53-59
42. Laurance-Young P, Bozec L, Gracia L, Rees G, Lippert F, Lynch RJ, et al. A review of the structure of human and bovine dental hard tissues and their physicochemical behaviour in relation to erosive challenge and remineralisation. *J Dent.* 2011;39:266-272
43. Wegehaupt F, Gunthart N, Sener B, Attin T. Prevention of erosive/abrasive enamel wear due to orange juice modified with dietary supplements. *Oral Dis.* 2011;17:508-514
44. Magalhaes AC, Levy FM, Souza BM, Cardoso CA, Cassiano LP, Pessan JP, et al. Inhibition of tooth erosion by milk containing different fluoride concentrations: an in vitro study. *J Dent.* 2014;42:498-502
45. Min JH, Kwon HK, Kim BI. The addition of nano-sized hydroxyapatite to a sports drink to inhibit dental erosion: in vitro study using bovine enamel. *J Dent.* 2011;39:629-635
46. Amoras DR, Corona SA, Rodrigues AL, Jr., Serra MC. Effect of beverages on bovine dental enamel subjected to erosive challenge with hydrochloric acid. *Braz Dent J.* 2012;23:367-372
47. Barbour ME, Rees JS. The laboratory assessment of enamel erosion: a review. *J Dent.* 2004;32:591-602
48. Schlueter N, Ganss C, De Sanctis S, Klimek J. Evaluation of a profilometrical method for monitoring erosive tooth wear. *Eur J Oral Sci.* 2005;113:505-511
49. Schlueter N, Hara A, Shellis RP, Ganss C. Methods for the measurement and characterization of erosion in enamel and dentine. *Caries Res.* 2011;45:13-23
50. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM. Factors influencing the development of dental erosion in vitro: enamel type, temperature and exposure time. *J Oral Rehabil.* 1999;26:624-630
51. Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A. The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent.* 2007;35:773-777
52. White AJ, Yorath C, ten Hengel V, Leary SD, Huysmans MC, Barbour ME. Human and bovine enamel erosion under 'single-drink' conditions. *Eur J Oral Sci.* 2010;118:604-609
53. Attin T, Knöfel S, Buchalla W, Tütüncü R. In situ evaluation of different remineralization periods to decrease brushing abrasion of demineralized enamel. *Caries Res.* 2001;35:216-222
54. Vukosavljevic D, Custodio W, Buzalaf MA, Hara AT, Siqueira WL. Acquired pellicle as a modulator for dental erosion. *Arch Oral Biol.* 2014;59:631-838

55. Hannig M, Hannig C. The pellicle and erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:206-214
56. Johansson AK, Lingstrom P, Imfeld T, Birkhed D. Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. *Eur J Oral Sci.* 2004;112:484-489
57. Wiegand A, Burkhard JP, Eggmann F, Attin T. Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clin Oral Investig.* 2013;17:815-822
58. Bergstrom J, Lavstedt S. An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1979;7:57-64

8 Anhang

8.1 Verwendete Materialien

- Mat. 1: Perthometer Concept, Mahr, Göttingen, Deutschland
- Mat. 2: IsoMet™ Präzisions Niedertourentrenner, Buehler GmbH, Düsseldorf, Deutschland
- Mat. 3: Dreh- & Fräsmaschinensystem, PROXXON GmbH, Föhren, Deutschland
- Mat. 4: Paladur, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland
- Mat. 5: Palamat elite, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland
- Mat. 6: Tegramin-30, Struers GmbH, Birmensdorf, Schweiz
- Mat. 7: SiC Papier, Struers GmbH, Birmensdorf, Schweiz
- Mat. 8: Filament Klebeband, 3M Schweiz GmbH, Rüschlikon, Schweiz
- Mat. 9: paro Zahnbürste M43 Interspace, Profimed AG, Kilchberg, Schweiz
- Mat. 10: 4D Client, custom designed software, Universität Zürich, Zürich, Schweiz
- Mat. 11: IBM® SPSS® Statistics, Version 23, International Business Machines Corp., New York, USA
- Mat. 12: Microsoft Corp., Redmond, USA

8.2 Verwendete Zahnpasten: Produktangaben und Inhaltsstoffe

Produktangaben	Inhaltsstoffe
<p>elmex KARIESSCHUTZ</p> <p>hergestellt von GABA Schweiz, Therwil, Schweiz für Denner AG, Zürich, Schweiz</p> <p>RDA: 77</p>	<p>Aqua, Hydrated Silica, Sorbitol, Hydroxyethylcellulose, Olafluor, Aroma, Saccharin, Limonene, CI 77891</p> <p>1400 ppm Fluoride (Olafluor)</p>
<p>Candida WHITE DIAMOND</p> <p>hergestellt von Mibelle Group AG, Buchs, Schweiz für Migros-Genossenschafts-Bund, Zürich Schweiz</p> <p>RDA: 30</p>	<p>Aqua, Hydrogenated Starch Hydrolysate, Potassium Citrate, Hydrated Silica, Sodium Lauryl Sulfate, Xanthan Gum, Aroma, Acrylates/C10-30 Alkyl Acrylate Crosspolymer, Sodium Fluoride, Sodium Saccharin, Zinc Chloride, Diamond Powder, Methylparaben, Sodium Hydroxide, Allantoin, Limonene, Linalool, CI 77891</p> <p>1450 ppm Fluoride (Sodium Fluoride)</p>
<p>Signal WHITE SYSTEM</p> <p>hergestellt von Unilever Schweiz, Thayngen, Schweiz für Denner, Zürich, Schweiz</p> <p>RDA: 180</p>	<p>Calcium Carbonate, Aqua, Sorbitol, Hydrated Silica, Sodium Lauryl Sulfate, Aroma, Sodium Monofluorophosphate, Trisodium Phosphate, Perlite, Cellulose Gum, Benzyl Alcohol, Sodium Saccharin, Propylene Glycol, Glycerin, CI 74160, CI77891</p> <p>1450 ppm Fluoride (Sodium Monofluorophosphate)</p>

9 Verdankungen

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegen bringen, ohne deren Mithilfe und Unterstützung die Anfertigung dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht zustande gekommen wäre:

Ganz besonders danken möchte ich an erster Stelle meinem Betreuer PD Dr. med. dent. Florian Wegehaupt, der stets hilfsbereit und wegweisend mich während der gesamten Erarbeitung meiner wissenschaftlichen Arbeit tatkräftig unterstützte und kompetent begleitete. Die mehrfache Durchsicht, die wertvollen inhaltlichen Anmerkungen und die hilfreichen Anregungen haben viel zur Vollendung meiner Dissertation beigetragen.

Grosser Dank gilt auch meinem Leiter der Dissertation Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin, für die Bereitstellung von wertvollen Tipps, die wissenschaftliche Anleitung zum Verfassen der Arbeit sowie die endgültige genaue Durchsicht meiner Dissertation.

Des Weiteren möchte ich mich bei den netten und hilfsbereiten Mitarbeitern des wissenschaftlichen Labors bedanken: Beatrice Sener, Claudia Cucuzza-Honti und My-Lien Lai, besonders auch bei Klaus Becker, der meine Studie im Labor koordinierte und mir beim Sammeln der Daten im Excel sehr behilflich war.

Auch bei PD Dr. Malgorzata Roos möchte ich mich herzlich für die fachkundige Unterstützung im Bereich der Biostatistik sowie der Analyse und Auswertung meiner Daten bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Mutter Rosanna Brossard und meinem Grossvater Paul Högger, die mir das Zahnmedizinstudium ermöglichten und mich stets auf meinem Weg unterstützt und begleitet haben.